

WO 2005/076028 A1



GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO,

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

**CAVITÉ RÉSONANTE DE HAUTE FRÉQUENCE POUR LA RÉSONANCE  
MAGNÉTIQUE NUCLEAIRE, UTILISANT DES LIGNES DE  
TRANSMISSION RADIO-FRÉQUENCE**

5

**DESCRIPTION**

**DOMAINE TECHNIQUE**

La présente invention concerne une cavité résonante de haute fréquence (en anglais « high-frequency cavity resonator »), plus particulièrement, une antenne de type cavité résonante de haute fréquence, utilisant des lignes de transmission radio-fréquence, ces lignes de transmission étant de préférence accordables.

L'invention s'applique notamment aux dispositifs de RMN, c'est-à-dire de Résonance Magnétique Nucléaire (en anglais « Nuclear Magnetic Resonance ») et, plus particulièrement, à ceux qui sont destinés aux examens biologiques et médicaux.

Cette cavité résonante de haute fréquence est utilisée pour engendrer un champ appelé « champ B1 », qui est un champ électromagnétique de haute fréquence, ou champ radiofréquence (RF), ayant une composante magnétique, afin d'exciter les noyaux des atomes étudiés, c'est-à-dire tous ceux qui sont détectables par RMN, qui se trouvent dans l'objet examiné, placé dans la cavité, puis pour capter le champ radiofréquence très faible qui résulte du phénomène de RMN.

Cette cavité a été étudiée pour exciter et capter plus particulièrement le signal du proton de l'atome d'hydrogène.

Cette cavité résonante de haute fréquence  
5 est utilisable dans le domaine de la RMN, c'est-à-dire de la Résonance Magnétique Nucléaire (en anglais « Nuclear Magnetic Resonance »), plus particulièrement pour examiner la tête d'un sujet par IRM (Imagerie par Résonance Magnétique, en anglais "Magnetic Resonance  
10 Imaging"), mais aussi dans le domaine de la SRM, c'est-à-dire de la Spectroscopie par Résonance Magnétique (en anglais « Magnetic Resonance Spectroscopy »).

#### ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

15 Une cavité résonante de haute fréquence blindée (en anglais « shielded »), du type cage à oiseau (en anglais « bird cage »), comprend :

- un ensemble de lignes de transmission,
- un blindage (en anglais « shield ») qui  
20 entoure cet ensemble de lignes de transmission, et
- une ou plusieurs boucles (en anglais « loops ») qui sont intercalées entre l'ensemble de lignes de transmission et le blindage et sont destinées à l'excitation radiofréquence de la cavité résonante et  
25 à la détection des signaux de RMN.

À ce sujet, on se reportera aux documents suivants :

- [1] US 4746866 (Röschmann)
- 30 [2] US 4751464 (Bridges)
- [3] US 5557247 (Vaughn, Jr.).

[4] Proc. Int. Soc. Mag. Res. Med. 11, 2003, N° 2354 (Vaughn).

Ces documents concernent essentiellement des améliorations apportées aux lignes de transmission  
5 d'une cavité résonante, prises individuellement ou dans leur ensemble.

Des moyens pour accorder (en anglais « tune ») chaque ligne de transmission à la fréquence de travail souhaitée sont généralement formés, dans les  
10 dispositifs décrits dans les documents cités, par des moyens mécaniques de réglage du couplage électromagnétique entre les lignes de transmission et le blindage.

Ainsi, le document [1] divulgue une bobine  
15 (en anglais « coil ») qui est destinée à un appareil d'IRM et formée de lignes de transmission qui s'apparentent aux câbles coaxiaux : chacune de ces lignes comprend un cylindre externe, creux et conducteur, contenant un cylindre interne creux, qui  
20 est fait d'un matériau diélectrique et à l'intérieur duquel sont placés deux conducteurs centraux, au moins l'un de ces derniers étant mobile axialement.

Un blindage externe est couplé aux conducteurs centraux par l'intermédiaire des extrémités  
25 du cylindre externe, grâce à des contacts glissants.

Le déplacement mécanique du conducteur central mobile a pour effet de modifier la capacité (en anglais « capacitance ») de la ligne de transmission, ce qui permet un ajustement de la fréquence de  
30 résonance. Toutefois, on constate dans ce document [1] que le conducteur externe du barreau, formé par une

ligne coaxiale, ne présente aucune discontinuité diélectrique.

Le document [2] décrit une cavité résonante dont les lignes de transmission sont formées de segments de bandes conductrices, entre lesquels sont  
5 intercalées des sections d'un matériau diélectrique. Un blindage externe est couplé aux lignes de transmission par l'intermédiaire de capacités qui sont situées aux extrémités de chaque ligne de transmission. L'accord de  
10 la cavité résonante est effectué au moyen de fentes réglables, formées dans le blindage externe. Dans le document [2], les "barreaux" se présentent sous la forme de rubans de section rectangulaire. D'autre part, la surface principale des éléments diélectriques dans  
15 ce document [2] est parallèle à l'axe du barreau. Les barreaux (ou rubans) sont fixes et ne permettent aucun ajustement possible. Enfin, la liaison d'un barreau avec l'enveloppe que comporte la cavité résonante est électriquement isolante.

20 Le document [3] utilise des lignes de transmission, du genre de celles qui sont divulguées par le document [1], pour former une cavité résonante de type cage à oiseau. En outre, ce document décrit un système mécanique permettant d'accorder simultanément  
25 plusieurs lignes de transmission.

Les cavités résonantes connues par les documents cités présentent l'inconvénient de ne pas fonctionner convenablement lorsqu'on les utilise à des valeurs élevées de champ magnétique, de l'ordre de 9 T  
30 ou plus, et/ou à des fréquences élevées, de l'ordre de

400 MHz ou plus, en vue d'augmenter le rapport signal/bruit.

Par exemple, des expériences et une simulation numérique du résonateur décrit dans le document [4] par la méthode des éléments finis (en anglais « finite element method ») montrent qu'un tel résonateur est limité à des fréquences de résonance du proton (fréquences de Larmor) qui sont inférieures à environ 400 MHz, ou à des champs magnétiques inférieurs à 4 teslas, pour des volumes cylindriques de 27 cm de diamètre et 25 cm de long, de tels volumes étant aptes à contenir la tête d'un sujet.

En effet, pour augmenter la fréquence, les conducteurs centraux des lignes de transmission doivent être complètement retirés, ce qui provoque des pertes par rayonnement ainsi qu'une mauvaise homogénéité du champ B1 produit.

#### EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour objet une cavité résonante de haute fréquence, qui ne présente pas les inconvénients des cavités résonantes connues, mentionnées plus haut.

Une cavité conforme à l'invention, est une amélioration de ces dernières, grâce à des lignes de transmission de structure originale et à la combinaison de ces lignes de transmission avec le blindage que comporte la cavité.

Des techniques de simulation numérique, qui sont particulièrement bien adaptées à ce type

d'invention, permettent d'optimiser les paramètres de cette cavité.

On propose en outre un système d'accord dont peuvent être pourvues les lignes de transmission.

5 Un aspect essentiel de l'invention réside dans la structure des lignes de transmission, cette structure différant de celle que l'on trouve dans les documents [1] à [3]. En effet, dans l'invention, une ligne de transmission n'est pas une structure coaxiale  
10 de matériaux conducteurs alternant avec des matériaux diélectriques, ni une structure de rubans de section rectangulaire : dans l'invention, il s'agit d'un barreau rectiligne et segmenté qui est (ou est rendu) électriquement conducteur et pourvu d'éléments  
15 diélectriques minces, intercalés entre les segments conducteurs cylindriques du barreau.

Certes, des principes analogues sont utilisés dans le domaine des accélérateurs de particules à ondes progressives (en anglais  
20 « travelling wave particle accelerators ») mais les structures qui font l'objet de l'invention sont tout à fait originales dans le domaine de la RMN, qui est très éloigné du précédent.

À l'aide d'une simulation numérique, on  
25 ajuste l'épaisseur des éléments diélectriques, le matériau constitutif de ces derniers et le nombre de ces éléments par ligne de transmission, ainsi que le nombre de telles lignes dans la cavité résonante, en vue d'adapter au mieux les paramètres de cette dernière  
30 (notamment le facteur de qualité, la fréquence de travail et l'homogénéité du champ) et d'obtenir un



ensemble de lignes dont les dimensions sont compatibles avec le volume de la cavité.

En outre, la fréquence de travail de cette dernière peut être finement ajustée par modification de l'épaisseur des éléments diélectriques, par exemple par déformation de ces derniers.

De plus, au lieu d'être un simple cylindre fermé en une extrémité et pourvu d'une ouverture en l'autre extrémité, pour permettre l'introduction d'un objet - en particulier la tête d'un sujet - dans la cavité, le blindage peut comporter une section cylindrique réentrante au niveau de l'ouverture.

Une telle section permet avantageusement de réduire les pertes d'énergie électromagnétique par rayonnement au niveau de l'ouverture et limite les perturbations de la cavité par l'objet, en particulier la tête.

On peut concevoir une cavité résonante conforme à l'invention, capable de fonctionner sous un champ magnétique de 11,7 T, à 500 MHz, avec une homogénéité volumique meilleure que 5% sur un volume cylindrique de 190 mm de diamètre, équivalent à une tête.

En outre, des lignes de transmission ayant la structure originale mentionnée plus haut sont utilisables dans d'autres domaines que l'IRM, par exemple la SRM.

De façon précise, la présente invention a pour objet une cavité résonante de haute fréquence pour la résonance magnétique nucléaire, comprenant un ensemble de lignes de transmission et un blindage qui

entoure ces lignes de transmission, caractérisée en ce que chacune de ces lignes de transmission comprend un barreau rectiligne qui est divisé en segments cylindriques allongés, ces segments étant  
5 électriquement conducteurs ou rendus électriquement conducteurs, le barreau étant pourvu d'éléments diélectriques minces qui sont intercalés entre les segments. La longueur des segments cylindriques est ainsi très supérieure à celle des intervalles  
10 électriquement isolants où sont intercalés les éléments diélectriques de faible épaisseur. Le diamètre des segments conducteurs est de préférence très inférieur à la longueur d'onde de travail.

De préférence, les segments cylindriques  
15 sont faits d'un matériau diélectrique dont la surface externe est rendue électriquement conductrice.

De préférence, les segments cylindriques et les éléments diélectriques d'un même barreau ont sensiblement le même diamètre.

20 De préférence, les différents segments cylindriques conducteurs d'un même barreau sont de longueurs différentes, calculée pour obtenir la meilleure homogénéité du champ au centre de la cavité résonante. Par exemple, un barreau comprend  
25 successivement des segments dont les longueurs respectives sont 50mm, 14mm, 44mm, 60mm, 44mm, 14mm et 50mm.

Selon un mode de réalisation préféré de la ligne de transmission objet de l'invention, cette ligne  
30 est pourvue de moyens d'accord en fréquence, ces moyens

d'accord étant aptes à modifier l'épaisseur des éléments diélectriques.

De préférence, les éléments diélectriques sont élastiquement déformables.

5 De préférence, les éléments diélectriques sont de section sensiblement circulaire.

De préférence, les éléments diélectriques présentent une surface principale sensiblement perpendiculaire à l'axe du barreau.

10 Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, les segments et les éléments diélectriques comportent des perçages, chaque ligne de transmission comprenant en outre des pièces de liaison diélectriques et rectilignes qui traversent les perçages et sur  
15 lesquelles les segments et les éléments diélectriques sont aptes à coulisser.

De préférence, les lignes de transmission (ou barreaux) sont sensiblement parallèles et régulièrement réparties sur une surface cylindrique.

20 La cavité résonante de haute fréquence peut comprendre deux extrémités qui sont respectivement ouverte et fermée. Le blindage de la cavité peut avoir une structure cylindrique.

Dans ces deux cas, le blindage peut  
25 comporter une partie réentrantante du côté de l'extrémité ouverte de la cavité.

Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, une liaison électriquement conductrice est établie entre chaque barreau et le blindage.

30 La cavité résonante, objet de l'invention, peut être utilisée en imagerie par résonance magnétique

en tant que système d'émission ou de réception. Elle peut aussi être utilisée dans le domaine de la Spectroscopie par Résonance Magnétique en tant que système d'émission ou de réception.

5                   La présente invention concerne aussi un appareil de résonance magnétique nucléaire comportant une cavité résonante de haute fréquence conforme à l'invention.

                  Elle concerne en outre un guide d'onde à  
10 conducteurs multiples, constitué d'une ligne de transmission reliée à un ensemble de lignes de transmission, ou conducteurs élémentaires, caractérisé en ce que ces conducteurs élémentaires sont disposés sur un cylindre et en ce que les axes de ces  
15 conducteurs élémentaires sont sensiblement parallèles à l'axe du cylindre, et en ce que chacune de ces lignes de transmission, ou conducteurs élémentaires, comprend un barreau rectiligne divisé en segments cylindriques allongés, ces segments étant électriquement conducteurs  
20 ou rendus électriquement conducteurs, le barreau étant pourvu d'éléments diélectriques minces qui sont intercalés entre les segments, l'ensemble des conducteurs élémentaires étant relié conductivement à un blindage qui entoure cet ensemble.

25

#### **BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS**

                  La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés ci-après, à titre purement indicatif et  
30 nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une vue en coupe transversale schématique de la géométrie d'un guide d'onde à conducteurs multiples, conforme à l'invention, et illustre également des modes de propagation d'ondes  
5 électromagnétiques dans ce guide,

- les figures 2A et 2B illustrent schématiquement, en coupe longitudinale (figure 2A) et en coupe transversale (figure 2B), un exemple d'une antenne, ou cavité résonante, conforme à l'invention  
10 pour la simulation numérique,

- les figures 3A et 3B illustrent schématiquement, en coupe transversale (figure 3A) et en coupe longitudinale (figure 3B), le champ magnétique transverse B1 à 500 MHz dans l'exemple d'antenne des  
15 figures 2A et 2B,

- les figures 4A, 4B et 4C illustrent schématiquement, en coupe transversale (figure 4A) et en coupe longitudinale suivant deux plans orthogonaux (figures 4B et 4C), des courbes de niveau de  
20 l'amplitude du champ B1 en polarisation linéaire,

- la figure 5 représente les variations de l'amplitude normalisée A du champ B1 suivant deux axes orthogonaux x (courbe I) et y (courbe II), au centre de l'exemple d'antenne conforme à l'invention, en partant  
25 de l'axe z de l'antenne, qui est orthogonal aux axes x et y, les axes x, y et z ayant un point d'intersection O,

- les figures 6A, 6B et 6C illustrent schématiquement, en coupe transversale (figure 6A) et  
30 en coupe longitudinale suivant deux plans orthogonaux

(figures 6B et 6C), des courbes de niveau de l'amplitude du champ B1 en polarisation circulaire,

- les figures 7A et 7B sont respectivement une vue en perspective schématique et une vue en coupe longitudinale schématique d'un exemple de l'antenne objet de l'invention, seuls 4 des 32 barreaux que comporte cette antenne étant représentés,
- les figures 8A et 8B sont des vues en perspective schématique d'éléments de l'antenne des figures 7A et 7B, pourvus d'un revêtement métallique,
- les figures 9A et 9B sont des vues en perspective schématique d'éléments diélectriques de cette antenne,
- les figures 10A et 10B sont des vues en perspective schématique d'une pastille déformable (figure 10A) et d'une pièce de liaison (figure 10B) utilisées dans cette antenne, et
- les figures 11A et 11B sont des vues en perspective schématique de tronçons cylindriques qui sont pourvus d'un revêtement métallique et forment les barreaux de cette antenne.

#### **EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS**

La réalisation d'une cavité résonante de haute fréquence, appelée également bobine RF volumique, conçue pour examiner la tête d'un sujet par RMN, devient critique lorsque la longueur d'onde effective du champ RF devient proche de la taille de l'échantillon (tête). La fréquence de travail de la cavité doit être ajustée à la fréquence de Larmor qui est proportionnelle à l'intensité du champ magnétique

longitudinal et statique (généralement noté B0) de l'appareillage d'IRM.

Dans un mode de réalisation particulier, l'invention est destinée à un système d'IRM fonctionnant à 11,7 T. Par conséquent, la fréquence de Larmor est de 500 MHz pour le noyau (en anglais « nucleus ») étudié par IRM, en l'occurrence le proton de l'atome d'hydrogène.

Dans cette gamme de fréquences, les pertes électromagnétiques par rayonnement et dans l'échantillon augmentent et dégradent de ce fait le facteur de qualité de la cavité ainsi que l'homogénéité du champ transverse B1. La conception d'une bobine RF conforme à l'invention doit répondre à un double défi, à savoir conserver un facteur de qualité et une homogénéité de champ transverse B1 qui soient acceptables.

La présente invention propose une nouvelle conception de la cavité résonante, permettant à cette dernière de fonctionner à 500 MHz et au-delà (ces valeurs étant données à titre d'exemple, d'autres valeurs étant possibles).

Cette conception doit satisfaire à une contrainte dimensionnelle forte, imposée par la réalisation de la bobine qui engendre le champ B0 dans le système d'IRM et par celle des bobines de gradient (en anglais « gradient coils »), autres composants essentiels du système d'IRM.

Dans un exemple, le diamètre (respectivement la longueur) de la bobine RF volumique est limité à environ 350 mm (respectivement 300 mm).

Le principe de base de la conception de la cavité résonante conforme à l'invention consiste à réaliser un résonateur de type  $\lambda/2$  ou  $\lambda/4$  à partir d'une ligne de transmission. La contrainte portant sur la dimension transverse et la fréquence de fonctionnement écarte définitivement la possibilité d'utiliser une ligne à un seul conducteur, quelle que soit la géométrie de sa section, en raison de la fréquence de coupure (en anglais « cut-off frequency »). Ainsi, le choix d'une ligne à conducteurs multiples s'impose.

Compte tenu de la géométrie des autres composants du système (bobines de gradient et bobine créant le champ B0) et de la géométrie de l'échantillon (tête), le choix s'oriente vers une ligne comportant une enveloppe conductrice cylindrique E (voir la figure 1), dont l'axe a la référence z sur la figure 1, cette enveloppe (blindage) entourant plusieurs autres conducteurs C (ou barreaux conducteurs rectilignes) qui sont parallèles à l'axe z et uniformément répartis sur un cylindre (du point de vue géométrique) dont l'axe est aussi l'axe z. Sur la figure 1, les références x et y représentent des axes qui sont orthogonaux l'un à l'autre et à l'axe z.

L'analyse des modes de propagation de type TEM, en fonction du nombre de conducteurs C et de la dimension et du positionnement de ces derniers par rapport à l'enveloppe E, a fait l'objet d'une recherche propre à la présente invention, dans le but de créer, par superposition de plusieurs modes (car tous les modes TEM possèdent la même constante de propagation),



une distribution de champ B1 la plus uniforme possible dans une direction transverse.

Aucune approche analytique connue ne permet de définir ces paramètres (nombre de conducteurs et dimension et positionnement de ces derniers par rapport à l'enveloppe).

Seule une étude par simulation numérique, spécifique à la présente invention, permet d'obtenir les paramètres d'une cavité résonante conforme à l'invention, en particulier l'ensemble des paramètres adéquats de la section d'une ligne de transmission :

- diamètre de l'enveloppe externe E : 344 mm,
- diamètre des conducteurs internes C : 14 mm, et
- position de ces conducteurs C par rapport à l'axe z de la cavité : 147 mm.

On peut faire varier chacun de ces paramètres dans un intervalle dont l'amplitude est de l'ordre de 0,5 mm et qui est centré sur la valeur lui correspondant ci-dessus, sans modifier de manière significative la distribution du champ des modes de propagation.

Le principe de la simulation pour l'obtention des paramètres adéquats consiste à étudier systématiquement la distribution du champ magnétique de tous les modes où ce dernier est parallèle à l'axe y (figure 1). Pour cela, un algorithme de recherche de modes propres est appliqué sur la section du guide en 2 dimensions, avec une condition limite électrique le long de l'axe y et une condition limite magnétique le

long de l'axe x. Cette modélisation est équivalente à une excitation du guide (cavité) par une boucle de couplage magnétique, placée par exemple à l'abscisse +x entre l'enveloppe E et un des conducteurs C, et dont la surface est perpendiculaire à l'axe y. Huit modes de propagation sont ainsi obtenus. Ils sont notés M1, M2, ..., M8 et schématiquement illustrés par la figure 1.

Lorsque les dimensions des éléments du guide ne sont pas déterminées correctement, la superposition constructive et destructive des modes produit une distribution de champ magnétique très inhomogène.

Sur la figure 1, les modes M1, M7 et M8 sont excités préférentiellement par la boucle. Le mode utile étant le mode M8, la géométrie a été déterminée de telle sorte que la superposition des modes M1 et M7 ne détériore pas son homogénéité mais tende au contraire à l'améliorer.

La longueur d'onde des modes TEM, qui est de 60 cm à 500 MHz, n'exclut pas le principe d'un résonateur en  $\lambda/2$ , compatible avec la contrainte sur la longueur de la cavité. Cependant, les conditions aux limites devaient être identiques aux deux extrémités de la cavité, l'une de ces extrémités étant nécessairement ouverte dans le cas d'une bobine destinée à examiner la tête. Mais deux ouvertures induiraient trop de pertes par rayonnement à 500 MHz et dégraderaient drastiquement le facteur de qualité de la cavité.

La conception s'oriente donc vers un résonateur en  $\lambda/4$ . Or, compte tenu de la longueur

d'onde, ce résonateur ne mesurerait que 150 mm de long et l'homogénéité longitudinale du champ à l'emplacement de l'échantillon (la tête dans l'exemple considéré) deviendrait inacceptable.

5                   Conformément à la présente invention, on propose une cavité similaire à un résonateur en  $\lambda/4$ , capable de résonner à 500 MHz et au-delà, tout en assurant une homogénéité acceptable dans la direction longitudinale (z) et dans une direction transverse.

10                   Les auteurs des dispositifs décrits dans les divers documents cités plus haut utilisent des structures coaxiales ajustables en guise de conducteurs multiples. Chacune de ces structures constitue une capacité répartie variable grâce à la mobilité du  
15                   conducteur interne de la ligne coaxiale que constitue cette structure. En augmentant cette capacité, il a été possible d'obtenir une cavité à très basse fréquence de résonance, à savoir 170 MHz ou moins.

                  Par le retrait des conducteurs internes, la  
20                   fréquence d'une cavité du genre de celle qui est décrite dans le document [3] peut être augmentée, le cas limite étant celui dans lequel tout le conducteur est retiré. On retrouve alors une section analogue à celle que l'on voit sur la figure 1.

25                   Compte tenu des observations faites au sujet des résonateurs  $\lambda/2$  et  $\lambda/4$ , on comprend ainsi la raison pour laquelle les cavités du genre de celle qui est décrite dans le document [3] ne sont pas faites pour des applications à l'IRM pour l'homme au-delà de  
30                   400 MHz.

Un aspect innovant d'une cavité résonante conforme à la présente invention réside dans l'introduction de discontinuités diélectriques minces sur les conducteurs internes cylindriques faisant  
5 office de capacités discrètes, afin d'obtenir un résonateur de type  $\lambda/4$ , de préférence sur une longueur de 300 mm.

On met ainsi en œuvre une technique utilisée dans un domaine qui est très éloigné non  
10 seulement de la conception des antennes mais encore des applications de la RMN, à savoir le domaine des accélérateurs de particules.

En effet, dans les structures accélératrices à ondes progressives (en anglais  
15 « travelling waves »), des obstacles tels que des disques percés, disposés régulièrement dans un guide d'onde circulaire, permettent de diminuer la vitesse de phase (en anglais « phase velocity ») et de créer des bandes passantes (en anglais "pass-band") et des bandes  
20 de coupure (en anglais "stop-band"). La longueur d'onde de propagation dans les bandes passantes est d'autant plus grande que l'on s'approche d'une bande de coupure.

Cependant, l'efficacité d'une telle approche dans le cas des bobines RF volumiques n'était  
25 pas évidente. Malgré les obstacles, le mode de propagation dans les structures accélératrices reste un mode de type TM.

Dans le cas d'un guide à conducteurs multiples, où des modes dégénérés se propagent,  
30 l'introduction d'obstacles pourrait fortement perturber ces modes.

Seule l'utilisation d'un code numérique approprié permet de valider cette approche. Ce code doit être en mesure de mailler une structure complexe en 3 dimensions et comportant un grand nombre de  
5 constituants disjoints. Il permet de calculer la fréquence de résonance de l'antenne ainsi que la distribution du champ électromagnétique en 3 dimensions. Un code basé sur la méthode des intégrations finies convient à une telle étude.

10 Les figures 2A et 2B illustrent schématiquement un modèle d'une antenne conforme à l'invention pour la simulation numérique en vue de l'optimisation de cette dernière. On voit encore les trois axes orthogonaux  $x$ ,  $y$  et  $z$ , où  $z$  est l'axe  
15 longitudinal de l'antenne. Ces trois axes se coupent en un point  $O$  qui est au centre de l'antenne. On conservera ces notations dans la suite de la description.

Sur la figure 2A, la référence  $T$  désigne la  
20 zone d'intérêt pour l'examen par RMN, cette zone étant matérialisée par une sphère (vue en coupe).

L'antenne, ou cavité résonante, conforme à l'invention comprend une enveloppe électriquement conductrice  $e$  (blindage) dont une extrémité est ouverte  
25 et dont l'autre extrémité est fermée. L'antenne comprend aussi, dans l'enveloppe, des conducteurs électriques internes  $c$  (ou barreaux cylindriques conducteurs) qui sont parallèles à l'axe  $z$  de l'enveloppe.

30 Comme on le voit sur les figures 2A et 2B, chaque conducteur interne consiste en une juxtaposition

axiale de tronçons, ou segments, conducteurs cylindriques allongés 1, qui sont électriquement isolés par de minces pastilles diélectriques 2 constituant chacune un intervalle (en anglais « gap ») pour les  
5 conducteurs.

Un autre avantage important de l'invention est lié à la possibilité de moduler la position des intervalles, que comporte un conducteur, le long de ce conducteur, pour étendre l'homogénéité du champ B1  
10 dans la direction longitudinale (z). L'optimisation de la distance et de la position des intervalles a fait l'objet d'une modélisation en trois dimensions et de nombreuses simulations numériques.

Un exemple de réalisation comporte 8  
15 intervalles par conducteur, comme on le voit sur la figure 2A. L'écartement des intervalles peut varier de 0,5 mm à 2 mm pour un diélectrique fait de polyéthylène. Par usinage des pastilles diélectriques dans une forme qui permet leur déformation élastique,  
20 la cavité résonante peut être accordée en fréquence par une action mécanique simultanée sur l'ensemble de tronçons conducteurs, en compressant ces pastilles.

La forme mentionnée ci-dessus est par exemple un disque bombé ou une calotte sphérique, ou  
25 toute autre forme de section sensiblement circulaire, et présentant une surface principale sensiblement perpendiculaire à son axe.

Enfin, une couronne métallique 3 de 50 mm de haut a été aménagée du côté de l'ouverture que  
30 comporte l'antenne en l'une de ses extrémités, afin de

limiter le rayonnement et d'améliorer le facteur de qualité de l'antenne.

Les figures 3A et 3B montrent que la structure du mode M8 de la figure 1 a été conservée  
5 après l'introduction des pastilles diélectriques 2.

L'homogénéité du champ B1 ne pouvant être assurée que dans une seule direction transverse (voir les figures 4A à 4B et 5), on fait fonctionner la cavité résonante conforme à l'invention avec une  
10 polarisation circulaire (voir les figures 6A, 6B et 6C), grâce à 4 dispositifs d'excitation (non représentés) qui sont placés à 90 degrés les uns par rapport aux autres en +x, -x, +y et -y, et forment deux paires que l'on alimente en quadrature à l'aide de deux  
15 diviseurs de puissance et de deux circuits hybrides (non représentés).

Dans ce qui suit, on donne des détails sur la structure et le fonctionnement d'un exemple de l'antenne, ou cavité résonante, objet de l'invention,  
20 en faisant référence aux figures 7A, 7B, 8A, 8B, 9A, 9B, 10A, 10B, 11A et 11B. Cette antenne se compose d'éléments électriquement conducteurs en forme de cylindres allongés et d'éléments minces faits d'un matériau diélectrique.

25 Afin de minimiser les effets des courants qui sont induits par les bobines de gradient de l'appareil d'IRM dans lequel l'antenne est destinée à être montée, les éléments conducteurs sont constitués d'éléments faits d'un matériau diélectrique rigide, par  
30 exemple le polyéthylène de haute densité, et recouverts, par CVD, c'est-à-dire par dépôt chimique en

phase vapeur (en anglais « chemical vapor deposition »), d'une couche métallique ayant une épaisseur à peine supérieure à l'épaisseur de peau (en anglais « skin depth ») de l'onde RF, en tenant compte  
5 de la conductivité électrique.

Rappelons que : les figures 7A et 7B sont respectivement une vue externe et une vue en coupe d'un exemple de l'antenne objet de l'invention, seuls 4 des 32 barreaux que comporte l'antenne de cet exemple étant  
10 représentés ; les figures 8A et 8B montrent les éléments conducteurs de l'antenne de l'exemple (éléments avec revêtement métallique) ; les figures 9A et 9B montrent les éléments diélectriques de cette antenne ; les figures 10A et 10B montrent  
15 respectivement une pastille mince déformable et une pièce interne de liaison des segments ; et les figures 11A et 11B montrent des tronçons cylindriques avec revêtement métallique formant les barreaux de cette antenne.

Les éléments conducteurs de l'antenne sont : le corps 5 de cette antenne, les tronçons cylindriques 1 qui forment les barreaux de l'antenne, une couronne réentrante 3, un disque coulissant 6 qui ferme une extrémité de l'antenne, les conducteurs  
20 internes 10 des lignes coaxiales de couplage, et des plongeurs cylindriques 8 qui referment les boucles de couplage magnétique formées des éléments référencés 8, 9 et 10 - voir les figures 7A, 7B, 8A et 8B.

Les éléments en matériau diélectrique (non  
30 métallisés) peuvent être de deux types, le premier étant d'une grande rigidité pour le disque rotatif 7



qui permet l'accord en fréquence de l'antenne et pour les pièces de liaison interne 4, le second étant d'une grande élasticité pour les pastilles bombées 2.

La couronne réentrante 3, qui ne supporte pas d'effort mécanique, peut être collée sur le corps 5 de l'antenne.

Les tronçons 1 aux extrémités de chaque barreau sont vissés, d'un côté, sur le corps 5 dans des trous taraudés 5b prévus à cet effet et, de l'autre côté, sur le disque coulissant 6, au niveau de trous taraudés 6a de ce disque.

Les autres tronçons 1 sont reliés entre eux par une pièce de liaison interne 4 en prenant en sandwich une pastille bombée 2 pour former une capacité variable. L'empreinte de la pièce de liaison dans les tronçons doit être soit traversante, soit plus longue que cette pièce de liaison. Le jeu qui en résulte permet de comprimer la pastille - voir les figures 10A, 10B, 11A et 11B.

On voit que chaque pastille 2 (respectivement chaque tronçon 1) comporte un perçage 12 (respectivement 14) apte à être traversé par la pièce de liaison.

Vus en coupe, cette pièce et les perçages ont la même forme (trois branches à 120° les unes des autres dans l'exemple), la pièce ayant une taille légèrement inférieure à celle des perçages pour pouvoir coulisser dans ces perçages.

Dans la mesure où les pastilles diélectriques 2 ont été introduites pour que l'antenne puisse résonner à 500 MHz sur une longueur donnée, il

est aisé d'imaginer une méthode qui consiste à modifier simultanément la capacité de tous les intervalles (en anglais « gaps ») pour accorder l'antenne.

Cette modification est obtenue en faisant  
5 varier soit l'écartement de l'intervalle, soit la constante diélectrique de la pastille, soit les deux. Dans le premier cas, la sensibilité donnée par la simulation est de 144 MHz/mm pour des pastilles en Téflon (marque déposée) (dont la permittivité relative  
10 vaut 2,1) d'épaisseur sensiblement égale à 1 mm.

Une sensibilité de 82 MHz, par unité de permittivité relative, a été obtenue pour un intervalle de 1 mm d'écartement, dans le second cas.

Une réalisation de la combinaison de ces  
15 deux principes a été adoptée (voir les figures 7A et 7B).

Chaque pastille mince 2 en matériau diélectrique, d'épaisseur uniforme, possède une forme bombée pouvant ainsi subir une compression. Elle est  
20 percée en son centre d'un motif (voir les figures 10A et 10B) correspondant à la section d'une pièce de liaison 4 à 3 bras, également en matériau diélectrique mais plus rigide.

De chaque côté de la pastille 2, les deux  
25 tronçons de barreau 1 doivent présenter une empreinte négative de la pièce de liaison soit traversante, soit de plus grande longueur (jeu). Ainsi, ces pièces forment un intervalle capacitif qui est rendu variable par une compression de la pastille par les tronçons  
30 sans torsion.

Comme la fréquence de résonance des modes, et notamment le mode dipolaire, diminue avec l'augmentation de la capacité des intervalles, une compression de la pastille 2 combine deux effets qui s'ajoutent ; la réduction de l'écartement et l'augmentation de la constante diélectrique effective de l'intervalle participent en effet tous deux à l'augmentation de la capacité, et donc à un abaissement de la fréquence de résonance.

La compression est produite par le déplacement du disque coulissant 6 sur lequel s'appuie le disque rotatif 7 dont le bord comporte un filetage 7b qui s'adapte sur le filetage 5d du corps de l'antenne.

Deux poignées 7a ont été montées sur le disque rotatif pour en faciliter le maniement. Le déplacement du disque coulissant 6 est guidé par des saillies 6b qui sont aménagées sur son bord et s'emboîtent dans les rainures 5c (voir les figures 8A et 8B) prévues sur le corps 5 de l'antenne dans l'alignement des renforts 5a.

Ces renforts sont nécessaires du fait que l'épaisseur de la paroi latérale du corps 5 est limitée à 5 mm par la construction de bobines de gradient. Néanmoins, celle-ci autorise l'aménagement, par endroits, de renforts du fait que les bobines sont constituées d'éléments cylindriques disposés sur un cercle, ce qui laisse des interstices où les renforts 5a peuvent se loger.

L'alimentation en quadrature de l'antenne est réalisée au moyen de 4 entrées coaxiales dont le

conducteur externe 5e est solidaire du corps de l'antenne 5. Le conducteur interne est connecté à un tronçon 1 d'un barreau (voir la figure 7) et isolé du conducteur externe par un manchon électriquement isolant 9.

L'impédance caractéristique de la ligne a été choisie égale à 50 ohms.

Afin de garder un rapport de maille raisonnable et une précision de calcul satisfaisante pour le couplage, les dimensions de la ligne ont été augmentées plus qu'il n'est nécessaire pour véhiculer la puissance RF moyenne et la puissance RF crête.

Les diamètres intérieur et extérieur de la ligne sont respectivement de 4,2 mm et 14 mm.

Un plongeur (c'est-à-dire un élément conducteur ou rendu conducteur, qui pénètre dans l'antenne, au niveau de l'espace entre l'enveloppe E et les conducteurs C) cylindrique 8, de 7 mm de diamètre, dont l'axe se situe à une distance variable  $LC$  de l'axe du conducteur interne 10, referme la boucle de couplage magnétique à travers un intervalle capacitif de 1,4 mm d'écartement.

Cette méthode de couplage couvre une plage de facteur de qualité extérieur de 500 à 50 en faisant varier  $LC$  de 20 mm à 55 mm. Elle présente en outre l'avantage de ne pas modifier la fréquence de résonance sur cette plage. L'écartement de l'intervalle capacitif entre le plongeur et le barreau ne produit qu'une très faible variation du coefficient de couplage pour des valeurs entre 1 mm et 2 mm.

Enfin, les deux entrées diamétralement opposées forment une paire alimentée en phase par une source RF (non représentée) et les deux autres entrées, situées à 90 degrés des premières, forment une seconde  
5 paire qui est alimentée en quadrature (déphasage de 90 degrés) par rapport à la première paire.

L'invention met avantageusement en œuvre des barreaux conducteurs dont la structure cylindrique permet aux lignes de champ magnétique de mieux  
10 contourner chaque barreau, et permet ainsi d'obtenir une répartition plus homogène du champ magnétique dans la zone centrale de la cavité résonante. Ce contournement résulte des conditions aux limites imposées par les barreaux à l'onde électromagnétique à  
15 haute fréquence. Compte tenu des équations de Maxwell, les lignes de champ contournent plus aisément un barreau de section circulaire qu'un ruban de section rectangulaire aplatie (comme le barreau décrit dans le brevet US 4 751 464).

En pratique, la géométrie des barreaux limite aussi leur nombre (16 dans le brevet US 4 751 464) dans un volume donné pour un résonateur destiné à l'IRM, alors que le nombre de barreaux selon l'un des modes de réalisation préférentiels décrits est  
20 de 32. Or plus nombreux sont les barreaux, meilleure sera l'homogénéité du champ magnétique.

L'objet de l'invention peut également être décrit comme une ligne de transmission (ou un guide d'onde  
30 radio-fréquence) à conducteurs multiples, c'est-à-dire une ligne de transmission constituée d'un ensemble de

conducteurs élémentaires, couplés entre eux, et couplés  
au blindage qui les entoure, les conducteurs  
élémentaires correspondant à chaque barreau rectiligne  
divisé en segments cylindriques 1, ces segments étant  
5 électriquement conducteurs ou rendus électriquement  
conducteurs, et chaque barreau étant pourvu d'éléments  
diélectriques minces 2 qui sont intercalés entre les  
segments.

10 L'invention décrite ci-dessus ne se limite  
pas aux modes de réalisation décrits, ni aux valeurs  
numériques des exemples précédents. L'invention  
concerne également tout type de dispositif similaire,  
de dimensions différentes, avec des valeurs numériques  
15 adaptées.

**REVENDICATIONS**

1. Cavité résonante de haute fréquence pour la résonance magnétique nucléaire, comprenant un ensemble de lignes de transmission (c) et un blindage  
5 (e) qui entoure ces lignes de transmission, caractérisée en ce que chacune de ces lignes de transmission comprend un barreau rectiligne qui est divisé en segments cylindriques allongés (1), ces segments étant électriquement conducteurs ou rendus  
10 électriquement conducteurs, le barreau étant pourvu d'éléments diélectriques minces (2) qui sont intercalés entre les segments.

2. Cavité résonante selon la revendication  
15 1, dans laquelle les segments cylindriques (1) sont faits d'un matériau diélectrique dont la surface externe est rendue électriquement conductrice.

3. Cavité résonante selon l'une quelconque  
20 des revendications 1 à 2, cette cavité étant pourvue de moyens d'accord (4, 6, 7) en fréquence, ces moyens d'accord étant aptes à modifier l'épaisseur des éléments diélectriques minces (2).

25 4. Cavité résonante selon la revendication 3, dans laquelle les éléments diélectriques minces (2) sont élastiquement déformables.

5. Cavité résonante selon l'une quelconque  
30 des revendications 1 à 4, dans laquelle les éléments

diélectriques minces (2) sont de section sensiblement circulaire.

6. Cavité résonante selon l'une quelconque  
5 des revendications 1 à 5, dans laquelle les éléments diélectriques (2) présentent une surface principale sensiblement perpendiculaire à l'axe du barreau.

7. Cavité résonante selon l'une quelconque  
10 des revendications 1 à 6, dans laquelle les segments (1) et les éléments diélectriques (2) comportent des perçages (12, 14), chaque ligne de transmission comprenant en outre des pièces de liaison (4) diélectriques et rectilignes qui traversent les  
15 perçages et sur lesquelles les segments et les éléments diélectriques sont aptes à coulisser.

8. Cavité résonante selon l'une quelconque  
des revendications 1 à 7, dans laquelle les segments  
20 cylindriques (1) et les éléments diélectriques (2) d'un même barreau ont sensiblement le même diamètre extérieur.

9. Cavité résonante de haute fréquence  
25 selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans laquelle les lignes de transmission sont sensiblement parallèles et régulièrement réparties sur une surface cylindrique.

30 10. Cavité résonante de haute fréquence selon l'une quelconque des revendications 1 à 9,



comprenant deux extrémités qui sont respectivement ouverte et fermée.

11. Cavité résonante de haute fréquence  
5 selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans laquelle le blindage a une structure cylindrique.

12. Cavité résonante de haute fréquence  
selon l'une quelconque des revendications 10 et 11,  
10 dans laquelle le blindage comporte une partie rééminente (3) du côté de l'extrémité ouverte de la cavité.

13. Cavité résonante selon l'une quelconque  
15 des revendications 1 à 12, dans laquelle une liaison électriquement conductrice est établie entre chaque barreau et le blindage.

14. Cavité résonante de haute fréquence  
20 selon l'une quelconque des revendication 1 à 13, utilisée en imagerie par résonance magnétique en tant que système d'émission ou de réception.

15. Cavité résonante de haute fréquence  
25 selon l'une quelconque des revendication 1 à 14, utilisée dans le domaine de la Spectroscopie par Résonance Magnétique en tant que système d'émission ou de réception.

30 16. Appareil de résonance magnétique nucléaire comportant une cavité résonante de haute

fréquence selon l'une quelconque des revendications 1 à 15.

17. Guide d'onde à conducteurs multiples,  
5 constitué d'une ligne de transmission reliée à un ensemble de lignes de transmission, ou conducteurs élémentaires, caractérisé en ce que ces conducteurs élémentaires sont disposés sur un cylindre et en ce que les axes de ces conducteurs élémentaires sont  
10 sensiblement parallèles à l'axe du cylindre, et en ce que chacune de ces lignes de transmission, ou conducteurs élémentaires, comprend un barreau rectiligne divisé en segments cylindriques allongés (1), ces segments étant électriquement conducteurs ou  
15 rendus électriquement conducteurs, le barreau étant pourvu d'éléments diélectriques minces (2) qui sont intercalés entre les segments, l'ensemble des conducteurs élémentaires étant relié conductivement à un blindage qui entoure cet ensemble.

1 / 11

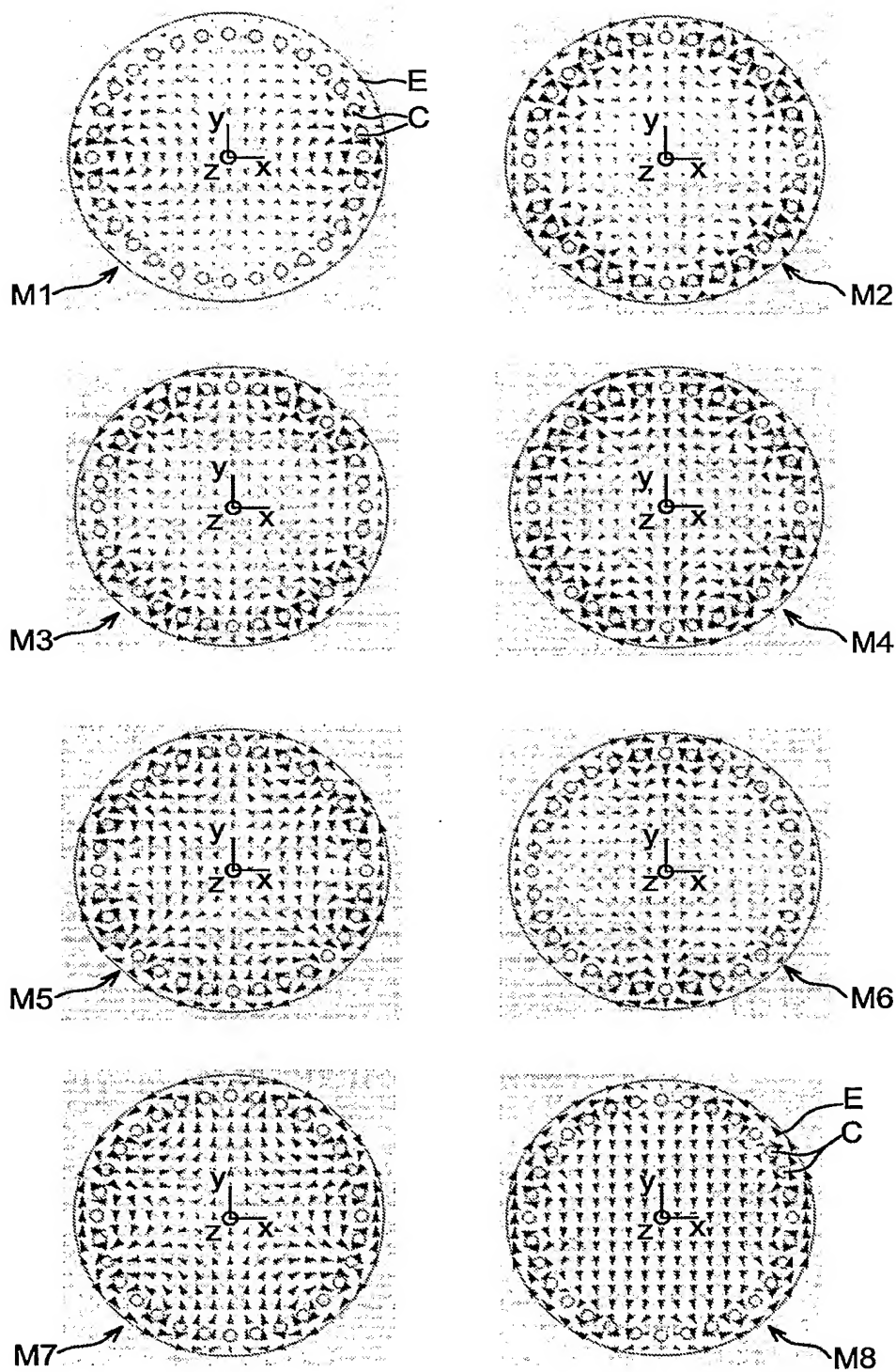


FIG. 1

2 / 11

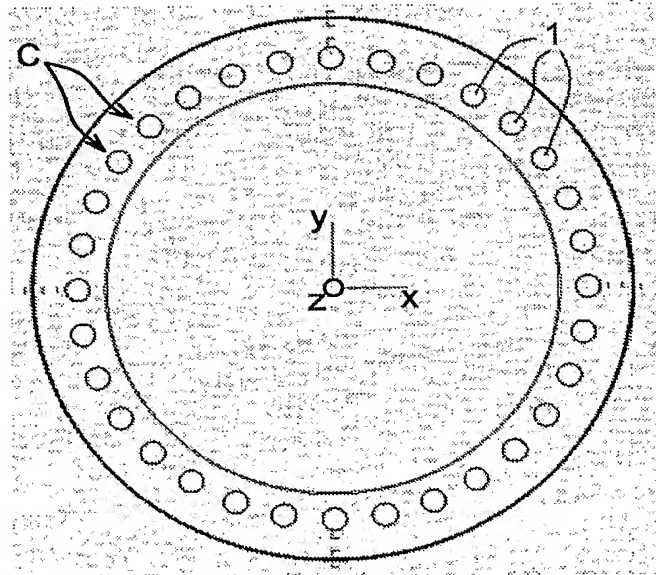
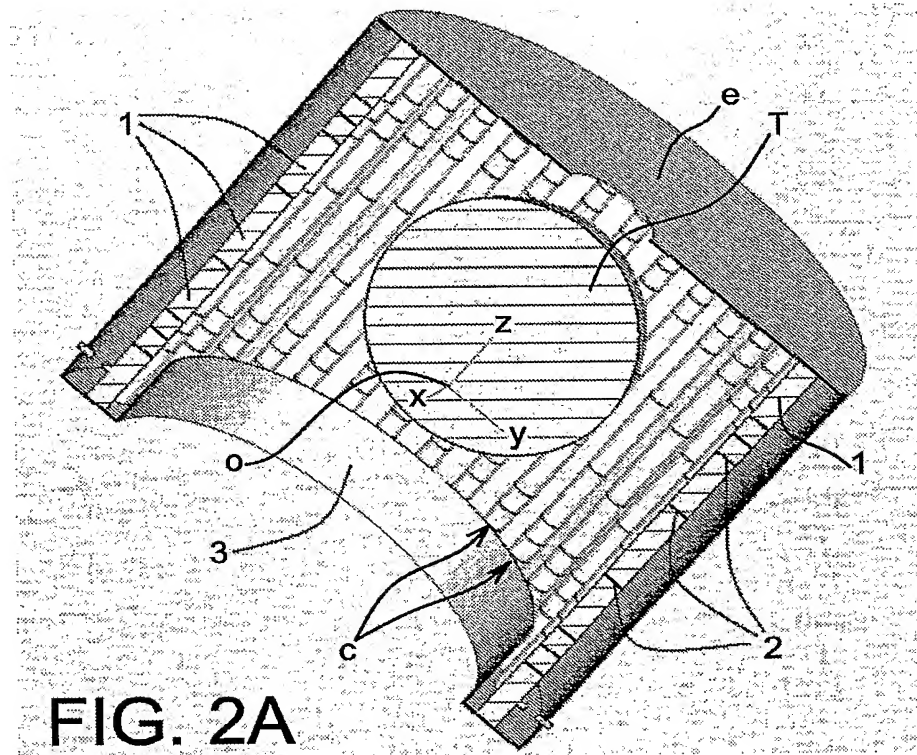


FIG. 2B

3 / 11

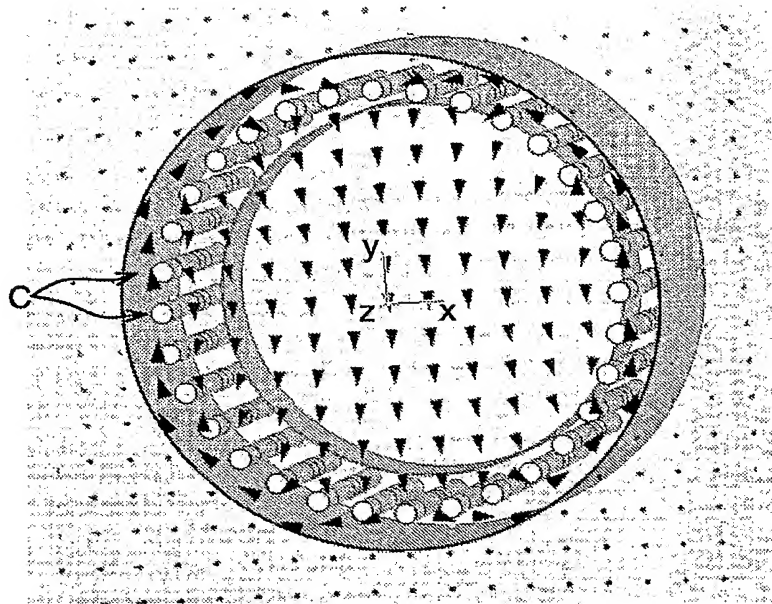


FIG. 3A

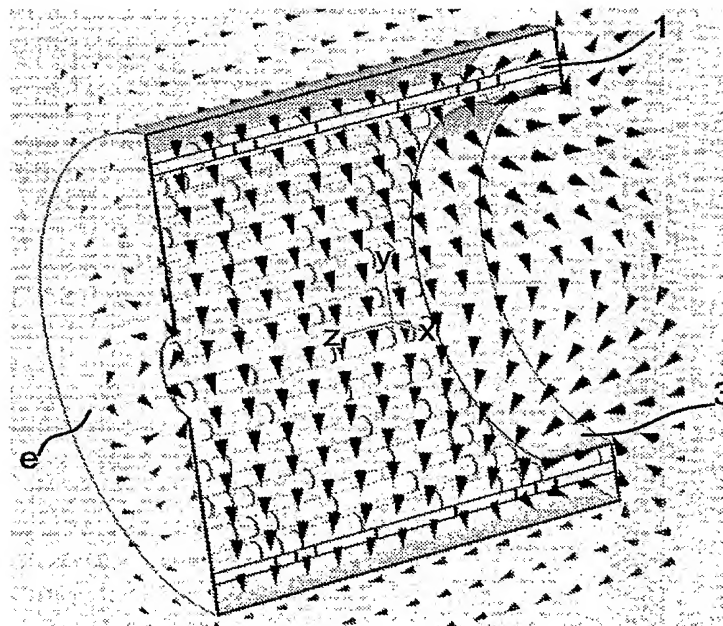


FIG. 3B

4 / 11

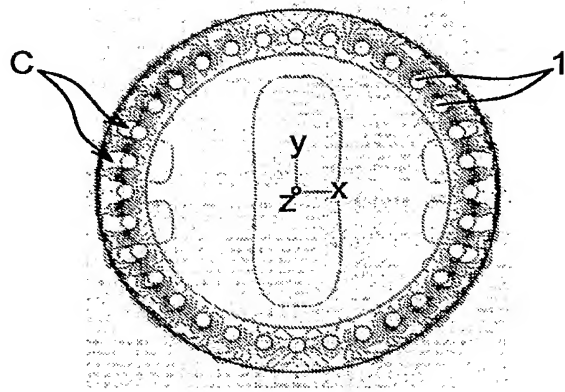


FIG. 4A

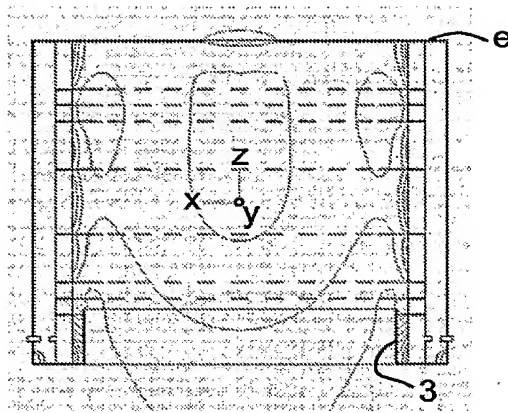


FIG. 4B

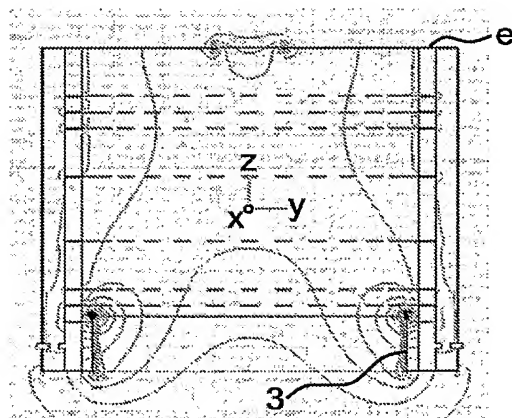


FIG. 4C

5 / 11

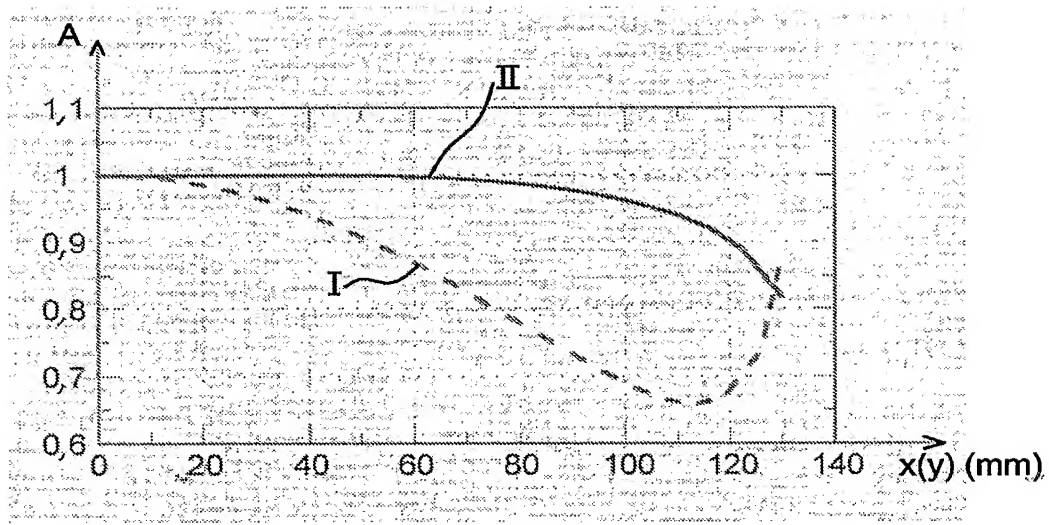


FIG. 5

6 / 11

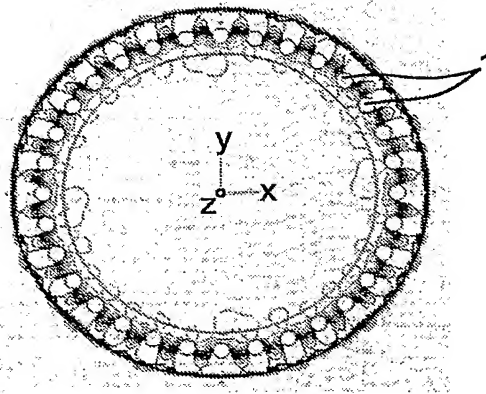


FIG. 6A

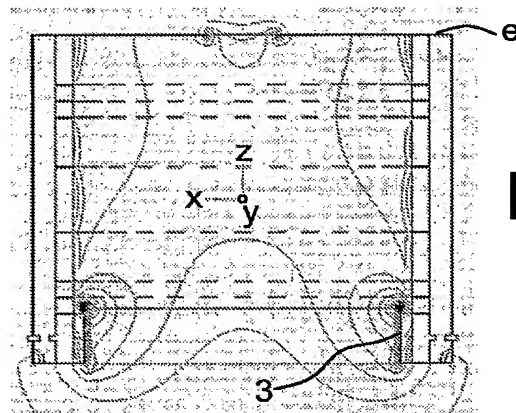


FIG. 6B

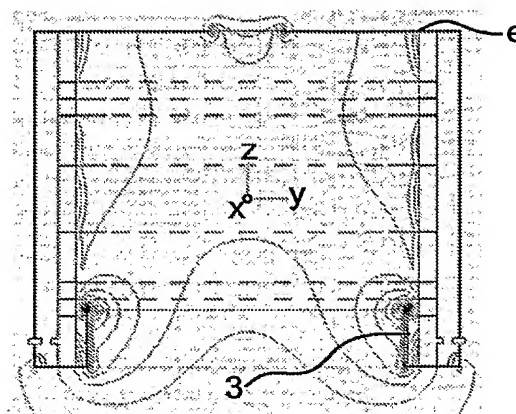


FIG. 6C



7 / 11

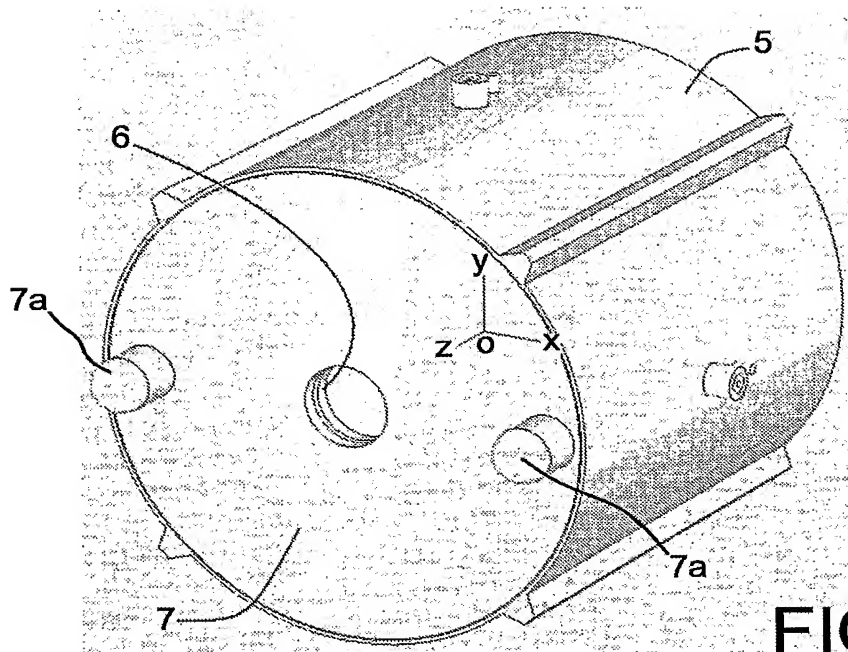


FIG. 7A

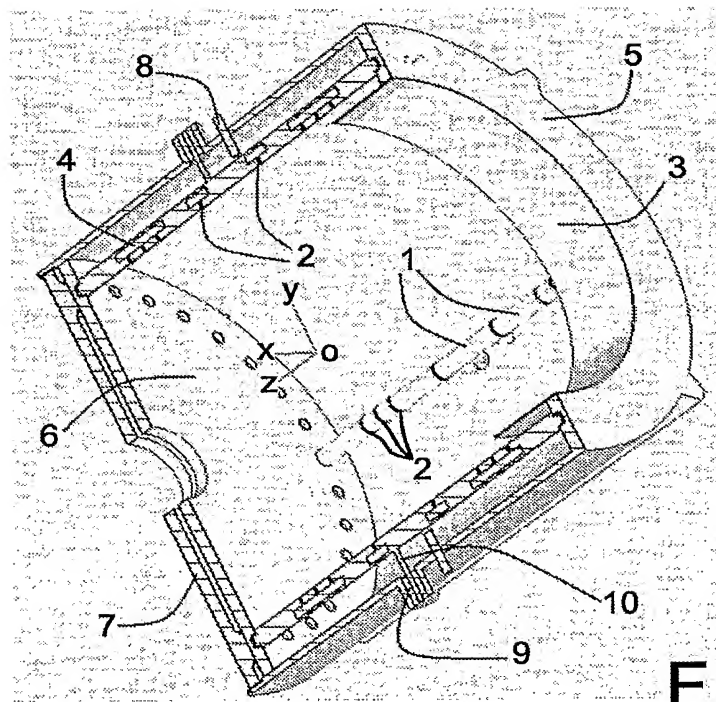


FIG. 7B

8/11

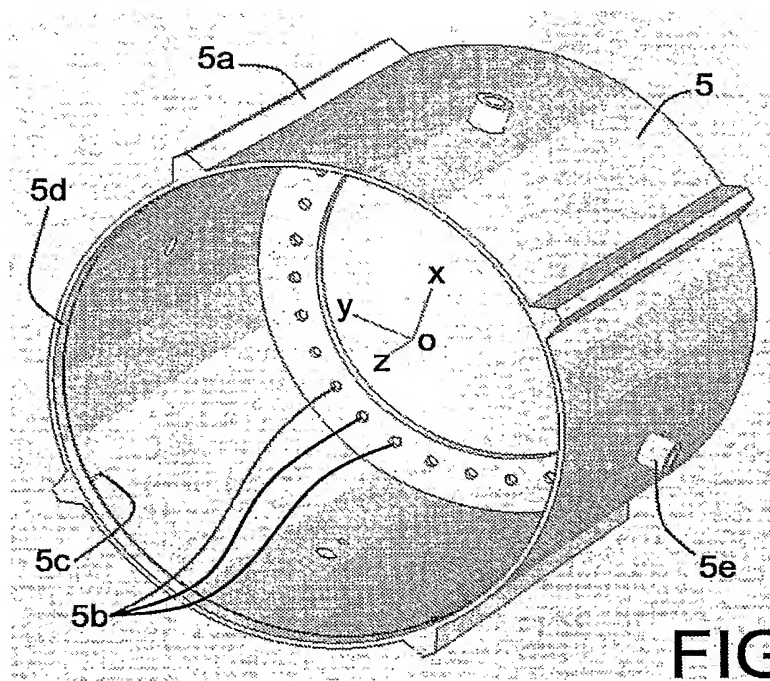


FIG. 8A

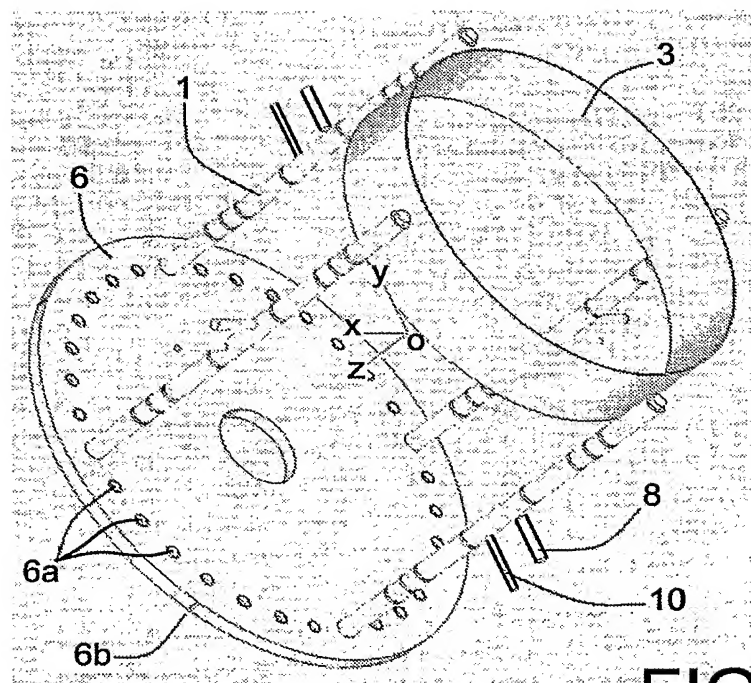
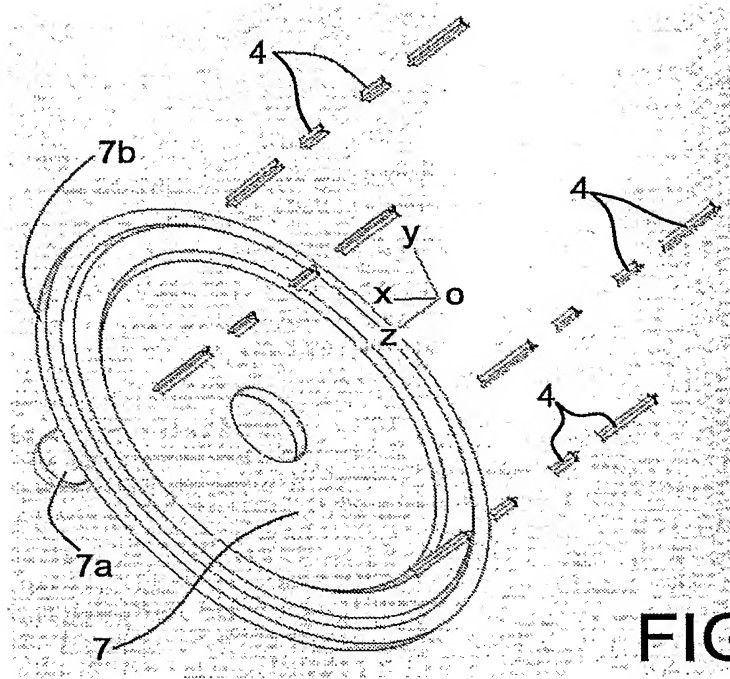
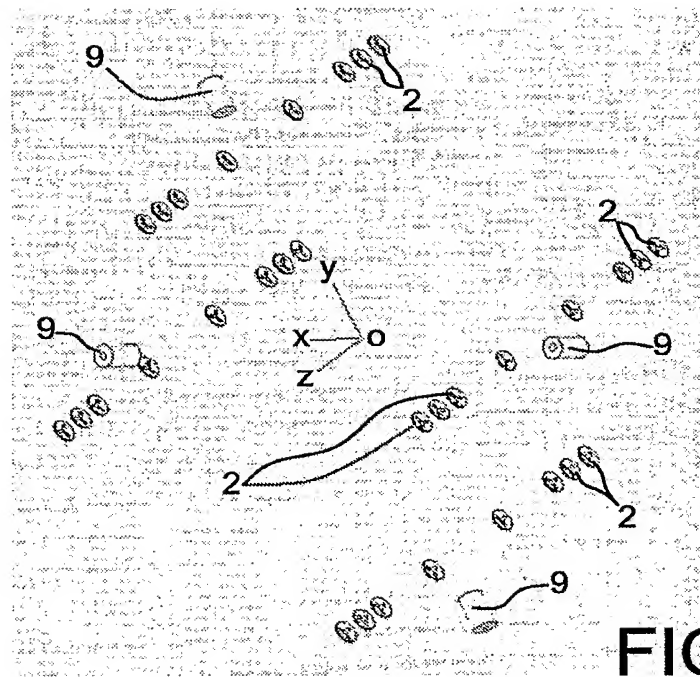


FIG. 8B

9 / 11



**FIG. 9A**



**FIG. 9B**

10/11

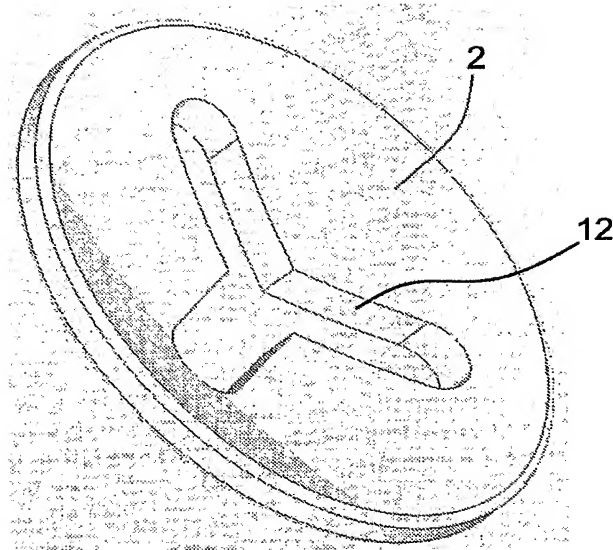


FIG. 10A

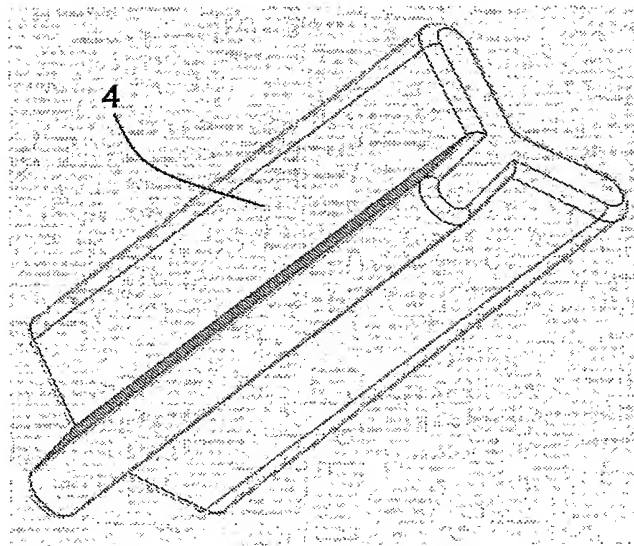


FIG. 10B

11/11

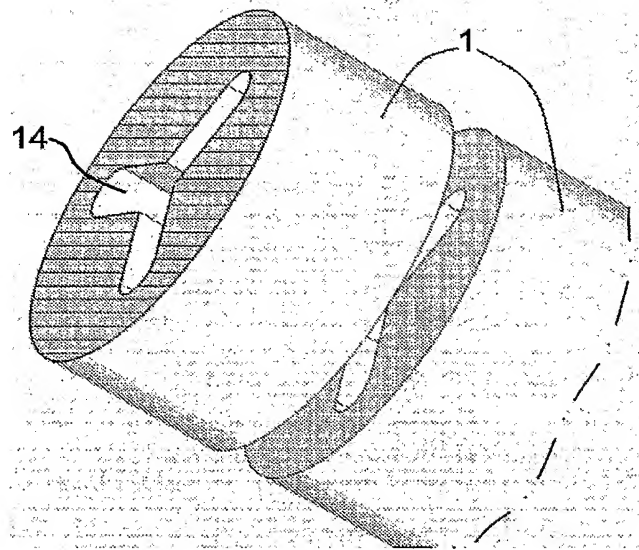


FIG. 11A

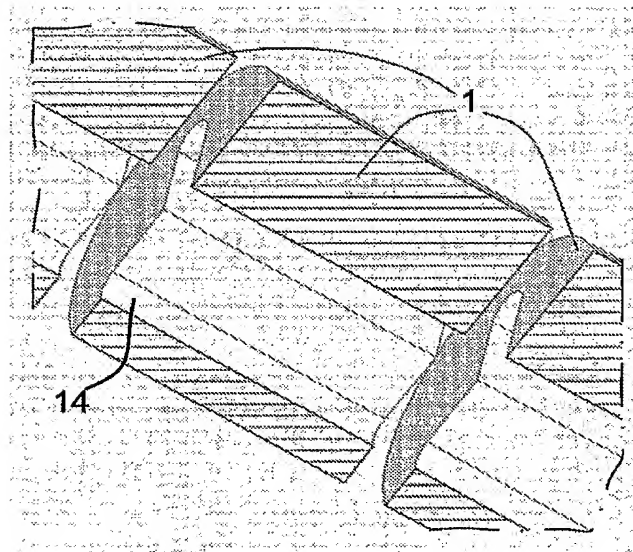


FIG. 11B

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR2005/050067

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 G01R33/34

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 G01R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data, INSPEC

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 366 188 A (N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN) 2 May 1990 (1990-05-02) column 1, line 47 - column 2, line 10 column 3, line 22 - column 4, line 7; figures 2,3	1,5,6,8, 9,11, 13-17
X	WEN H ET AL: "THE DESIGN AND TEST OF A NEW VOLUME COIL FOR HIGH FIELD IMAGING" MAGNETIC RESONANCE IN MEDICINE, ACADEMIC PRESS, DULUTH, MN, US, vol. 32, no. 4, 1 October 1994 (1994-10-01), pages 492-498, XP000477563 ISSN: 0740-3194 voir le chapitre 'Methods' ----- -/--	1,5,6,8, 9,11, 13-17

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \* & \* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 May 2005

Date of mailing of the international search report

06/06/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Lersch, W

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR2005/050067

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 746 866 A (ROESCHMANN ET AL) 24 May 1988 (1988-05-24) cited in the application column 2, line 59 - column 3, line 24 column 4, line 47 - column 5, line 31; figures 1,2,4d,6 -----	1,3,5,8, 9,11, 13-17
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 280 (C-0729), 18 June 1990 (1990-06-18) -& JP 02 084938 A (TOSHIBA CORP), 26 March 1990 (1990-03-26) abstract; figure 3 -----	1,3,5,6, 9,14-17
A	US 4 751 464 A (BRIDGES ET AL) 14 June 1988 (1988-06-14) cited in the application column 4, line 50 - column 5, line 28 column 7, line 44 - column 8, line 7; figures 1,6,6A -----	1,2,9-17
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 004, no. 028 (E-001), 8 March 1980 (1980-03-08) & JP 55 003268 A (MURATA MFG CO LTD), 11 January 1980 (1980-01-11) abstract -----	17
A	-----	1,2
A	US 2 912 695 A (CUTLER CASSIUS C) 10 November 1959 (1959-11-10) column 4, line 49 - column 5, line 12; figures 4,5 -----	1,2,5,6, 17

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No  
PCT/FR2005/050067

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0366188	A	02-05-1990	NL 8802608 A	16-05-1990
			DE 68918389 D1	27-10-1994
			DE 68918389 T2	20-04-1995
			EP 0366188 A1	02-05-1990
			JP 2164337 A	25-06-1990
			US 4952878 A	28-08-1990
<hr/>				
US 4746866	A	24-05-1988	DE 3538952 A1	14-05-1987
			DE 3685805 D1	30-07-1992
			EP 0223284 A2	27-05-1987
			JP 1978343 C	17-10-1995
			JP 7012353 B	15-02-1995
			JP 62112542 A	23-05-1987
<hr/>				
JP 02084938	A	26-03-1990	NONE	
<hr/>				
US 4751464	A	14-06-1988	EP 0290187 A2	09-11-1988
			JP 1029102 A	31-01-1989
<hr/>				
JP 55003268	A	11-01-1980	JP 1360245 C	30-01-1987
			JP 61026724 B	21-06-1986
			US 4245198 A	13-01-1981
<hr/>				
US 2912695	A	10-11-1959	US 2659817 A	17-11-1953
<hr/>				



# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/FR2005/050067

## A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

CIB 7 G01R33/34

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G01R

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data, INSPEC

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 0 366 188 A (N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN) 2 mai 1990 (1990-05-02) colonne 1, ligne 47 - colonne 2, ligne 10 colonne 3, ligne 22 - colonne 4, ligne 7; figures 2,3	1,5,6,8, 9,11, 13-17
X	WEN H ET AL: "THE DESIGN AND TEST OF A NEW VOLUME COIL FOR HIGH FIELD IMAGING" MAGNETIC RESONANCE IN MEDICINE, ACADEMIC PRESS, DULUTH, MN, US, vol. 32, no. 4, 1 octobre 1994 (1994-10-01), pages 492-498, XP000477563 ISSN: 0740-3194 voir le chapitre 'Methods'	1,5,6,8, 9,11, 13-17

-/--

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

27 mai 2005

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

06/06/2005

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Lersch, W

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/FR2005/050067

**C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 4 746 866 A (ROESCHMANN ET AL) 24 mai 1988 (1988-05-24) cité dans la demande colonne 2, ligne 59 - colonne 3, ligne 24 colonne 4, ligne 47 - colonne 5, ligne 31; figures 1,2,4d,6 -----	1,3,5,8, 9,11, 13-17
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 014, no. 280 (C-0729), 18 juin 1990 (1990-06-18) -& JP 02 084938 A (TOSHIBA CORP), 26 mars 1990 (1990-03-26) abrégé; figure 3 -----	1,3,5,6, 9,14-17
A	US 4 751 464 A (BRIDGES ET AL) 14 juin 1988 (1988-06-14) cité dans la demande colonne 4, ligne 50 - colonne 5, ligne 28 colonne 7, ligne 44 - colonne 8, ligne 7; figures 1,6,6A -----	1,2,9-17
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 004, no. 028 (E-001), 8 mars 1980 (1980-03-08) & JP 55 003268 A (MURATA MFG CO LTD), 11 janvier 1980 (1980-01-11) abrégé -----	17
A	-----	1,2
A	US 2 912 695 A (CUTLER CASSIUS C) 10 novembre 1959 (1959-11-10) colonne 4, ligne 49 - colonne 5, ligne 12; figures 4,5 -----	1,2,5,6, 17

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/FR2005/050067

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0366188	A	02-05-1990	NL 8802608 A	16-05-1990
			DE 68918389 D1	27-10-1994
			DE 68918389 T2	20-04-1995
			EP 0366188 A1	02-05-1990
			JP 2164337 A	25-06-1990
			US 4952878 A	28-08-1990
US 4746866	A	24-05-1988	DE 3538952 A1	14-05-1987
			DE 3685805 D1	30-07-1992
			EP 0223284 A2	27-05-1987
			JP 1978343 C	17-10-1995
			JP 7012353 B	15-02-1995
			JP 62112542 A	23-05-1987
JP 02084938	A	26-03-1990	AUCUN	
US 4751464	A	14-06-1988	EP 0290187 A2	09-11-1988
			JP 1029102 A	31-01-1989
JP 55003268	A	11-01-1980	JP 1360245 C	30-01-1987
			JP 61026724 B	21-06-1986
			US 4245198 A	13-01-1981
US 2912695	A	10-11-1959	US 2659817 A	17-11-1953